АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ФОРМЫ ВРЕМЕННЫХ ВИДЕОИМПУЛЬСОВ, ИСКАЖЕННЫХ РАССЕИВАЮЩИМ КАНАЛОМ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

Галуза А.А.[1], Тевяшева О.А.[2], Ахиезер Е.Б.[2]
[1]Институт электрофизики и радиационных технологий НАН Украины,
[2]Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

Проблема распространения и рассеяния электромагнитных (ЭМ) волн в атмосфере, гидросфере и биологических средах становится все более важной, особенно в таких областях науки и техники, как связь, дистанционное зондирование и обнаружение, экологический мониторинг. Это делает актуальной задачу разработки новых моделей, алгоритмов и информационных технологий в этой области. Свойства названых сред (радиоканалов) подвержены, как правило, случайным пространственно-временным флуктуациям. ЭМ сигнал, измененный такой средой, несет в себе информацию о ней. Эту информацию можно извлечь, для чего необходимо иметь как можно более адекватную математическую модель процесса рассеяния в конкретной среде.

Точная модель, построенная на основе уравнений Максвелла, чрезвычайно сложна, поэтому ее практическое применение затруднено. Существует большое количество приближенных моделей [1–3], описывающих различные ситуации. В настоящей работе рассмотрена одна из таких моделей [3], описывающая влияние случайно-неоднородной поглощающей среды на форму монохроматического сигнала. Построена вычислительная процедура получения формы результирующего сигнала в рамках рассматриваемой модели. Предполагается, что среда имеет вид плоскопараллельного слоя толщиной L, а импульс падает нормально к границе. Детектор расположен на оси распространения (схема эксперимента приведена на рис. 1).

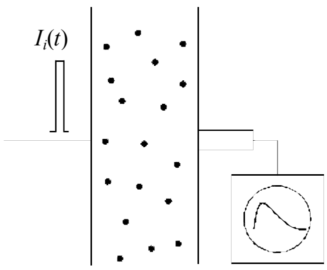

Рис. 1 – Схема эксперимента

Как показано в [1], интенсивность выходного сигнала в случае линейной стационарной среды определяется соотношением:

$$I(t) = \int G(t-t')I_i(t')dt', \tag{1}$$

где $I_i(t)$ - интенсивность входного сигнала, а $G(t)$ - функция Грина задачи. Как видно из (1), при известной $I_i(t)$, $G(t)$ полностью определяет $I(t)$. Для удобства часто пользуются не функцией Грина $G(t)$, а функцией когерентности $\Gamma(\eta)$, связанной с $G(t)$ Фурье-преобразованием:

$$G(t) = \frac{1}{2\pi}\int \Gamma(\eta)\exp(-i\eta t)d\eta . \tag{2}$$

В работе [3] получено уравнение для функции $\Gamma(\eta)$, соответствующей рассматриваемой среде. Оно имеет вид:

$$\left(\frac{\partial}{\partial z} + \frac{\nu}{2}\frac{\partial}{\partial \mathbf{r}}\mathbf{r} + ia\frac{\partial^2}{\partial \mathbf{r}^2} + b\mathbf{r}^2\right)\Gamma(\eta; z, \mathbf{r}) = 0 \tag{3}$$

с начальным условием $\Gamma(\eta; z=0, \mathbf{r}) = 1$. В (3) использованы следующие обозначения: r - радиальная координата; z - продольная координата; $a = \pi/\eta k^2$; $b = \rho\sigma_s k^2/4\alpha_p$; где c - скорость света; k - волновое число ЭМ излучения; ρ - концентрация рассеивающих центров среды; σs - сечение рассеяния; αр - угловой параметр рассеяния, ν - показатель поглощения.

В этой же работе получено решение уравнения (3) в точке r = 0:

$$\Gamma(z,\mathbf{0}) = \frac{\exp(-\nu z/2)}{\cos(\Omega z) + \gamma \sin(\Omega z)}, \quad (4)$$

где $\gamma = \nu/8iA$, $A = \left(\frac{b}{4ia} - \left(\frac{\nu}{8ia} \right)^2 \right)^{1/2}$, $\Omega = 4iaA$.

Выражения (1), (2) и (4) послужили основой для создания вычислительной процедуры получения формы временного видеоимпульса на выходе рассматриваемой среды.

Основная трудность возникает при выполнении обратного преобразования Фурье (2). Это неустойчивая операция, поэтому для получения $G(t)$ был использован специализированный алгоритм Гавера-Стефеста [5]. Как показано в работе [4], функция $G(t)$ обладает рядом инвариантных свойств, а именно, 1) $G(0) \equiv 0$; 2) $G(t)$ имеет экспоненциальную асимптотику при $t \to \infty$; 3) $G(t)$ имеет единственный максимум и две точки перегиба.

В алгоритме Гавера-Стефеста используется разложение оригинала в базис из функций, обладающих именно такими свойствами, благодаря чему этот алгоритм дает в нашем случае точные и устойчивые результаты.

На рис. 2 приведены результаты работы процедуры вычисления $G(t)$ (параметры расчета: αр = 3·10-2, ρ = 104 м-3 и σs = 3·10-10 м2, ν = 10-3 м-1). Тестирование процедуры обратного преобразования Фурье было выполнено на модельных примерах и показало достаточную точность алгоритма. Верификация результатов была проверена путем вычисления моментов функции $G(t)$ и сравнения их с аналитическими результатами, приведенными в работе [4], а также сравнения с ранее известными результатами для случая непоглощающей среды (ν = 0) [2].

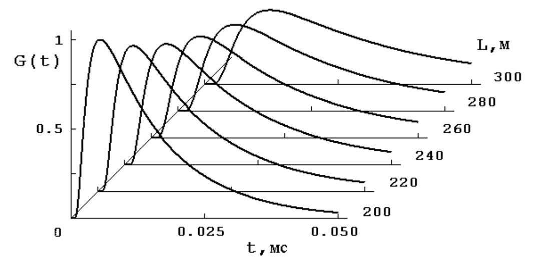

Рис. 2 – Графики зависимости G(t) (в относительных единицах) для различных значений толщины L пролетного слоя среды

Таким образом, в настоящей работе показана методика получения временной формы ЭМ сигнала, прошедшего однородный поглощающий рассеивающий канал передачи. Результаты могут быть использованы для анализа предельных возможностей передающих трактов, а так же при решении обратных задач (восстановление исходного сигнала, определение параметров среды).

1. Фалькович С.Е., Пономарев В.И., Шкварко Ю.В. Оптимальный прием пространственно-временных сигналов в радиоканалах с рассеянием. - М.: Радио и связь, 1989. - 296 с. 2. Исимару А. Распространение и рассеяние волн в случайно-неоднородных средах. В 2-х т. - М.: Мир, 1981. 3. Галуза А.А., Мазманишвили А.С. О временных характеристиках ЭМ импульса прошедшего через однородную поглощающую диффузионную среду// Радиофизика и радиоастрономия. - 1997. - Т. 2, № 2. - С. 211—213. 4. *A.A. Galuza, A.S. Mazmanishvili.* Analysis of Ishimaru Parabolic Equation: The Laguerre Invariance of the Output Time Impulses Shape// The Proc. of VII International Conference on Mathematical Methods in Electromagnetic Theory, Kharkov, Ukraine, June 2-5, 1998, pp. 429-431. 5. *Вирченко Ю.П., Костенко Ю.Т., Мазманишвили А.С.* Вероятностные модели случайных процессов и функционалов в прикладных задачах. - К.: НМК ВО, 1992. - 103 с.